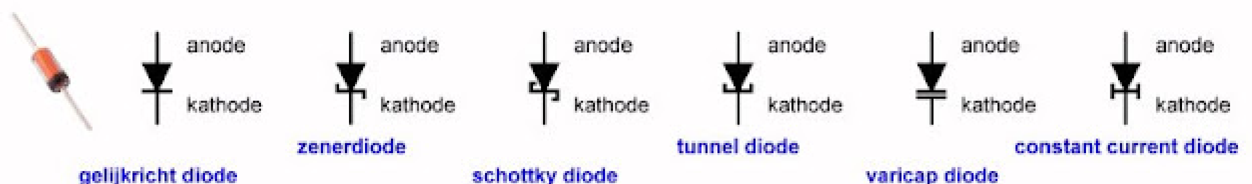
Diodes, een overzicht

U kent uiteraard de 'gewone' diodes zoals de 1N4007 of de 1N4148. Maar wist u dat er meer dan vijfentwintig 'speciale' diodes zijn ontwikkeld, ieder met een eigen toepassingsgebied? In dit artikel maakt u kennis met deze interessante onderdelen.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 22-08-2024

Achtergrondinformatie over de diode

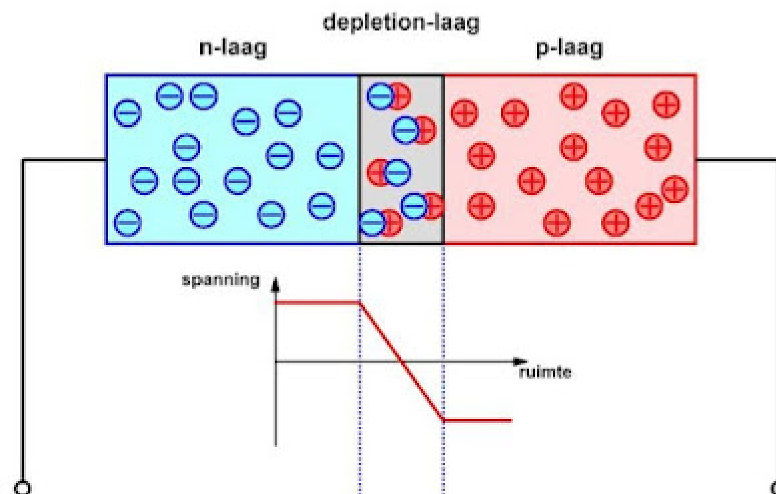
Wat is een diode?
In de algemene betekenis van het woord staat '*diode*' voor een uit halfgeleiders samengesteld elektronisch onderdeel dat stroom doorlaat in één richting en stroom blokkeert in de ander richting. In het eerste geval spreekt men van '*geleiding*', in het tweede van '*sper*'. Een diode is dus gepolariseerd, wat ook tot uiting komt in het symbool. In de onderstaande figuur zijn, naast een diode zoals u die kunt kopen, een aantal symbolen voorgesteld. De richting van het pijltje geeft bij alle symbolen weer in welke richting de stroom door het onderdeel kan vloeien. De twee aansluitingen van een diode hebben namen. Wilt u dat de diode geleidt, dan moet u de '*anode*' positief maken ten opzichte van de '*kathode*'.



Het uiterlijk en een paar symbolen van de diode. (© 2024 Jos Verstraten)

Hoe werkt een diode?
Daar zijn dikke boeken over vol geschreven! Wilt u tot in de details weten waarom een diode in de ene richting wél en in de andere richting géén stroom geleidt, dan moet u zich gaan verdiepen in de kwantummechanica. Dat gaan wij hier niet doen, want dan zou dit artikel nog veel langer worden dan het nu al is. Bovendien begrijpen wij die kwantummechanica zélf ook niet helemaal. Wij geven dus alleen maar een heel oppervlakkige verklaring van de werking van de diode.
Een '*gewone*' diode is samengesteld uit twee soorten halfgeleiders die innig met elkaar worden verbonden. Het ene type bestaat uit atomen waarin men extra elektronen heeft aangebracht. Dat wordt de N-zijde genoemd Het andere type bestaat uit atomen waaruit men elektronen heeft verwijderd. Dit wordt de P-zijde genoemd. Dat tekort aan elektronen wordt voorgesteld door de aanwezigheid van '*gaten*' in de atomen. Hoe men dat doet? Door het basismateriaal, bijvoorbeeld silicium, te '*doteren*' met ander elementen zoals fosfor, aluminium, gallium of indium. Die elementen hebben één elektron meer of minder op de buitenste elektronenschil dan silicium.
Die elektronen en gaten worden '*vrije ladingsdragers*' genoemd, omdat zij in staat zijn van atoom naar atoom te springen, bijvoorbeeld onder invloed van de temperatuur of van een elektrische spanning.

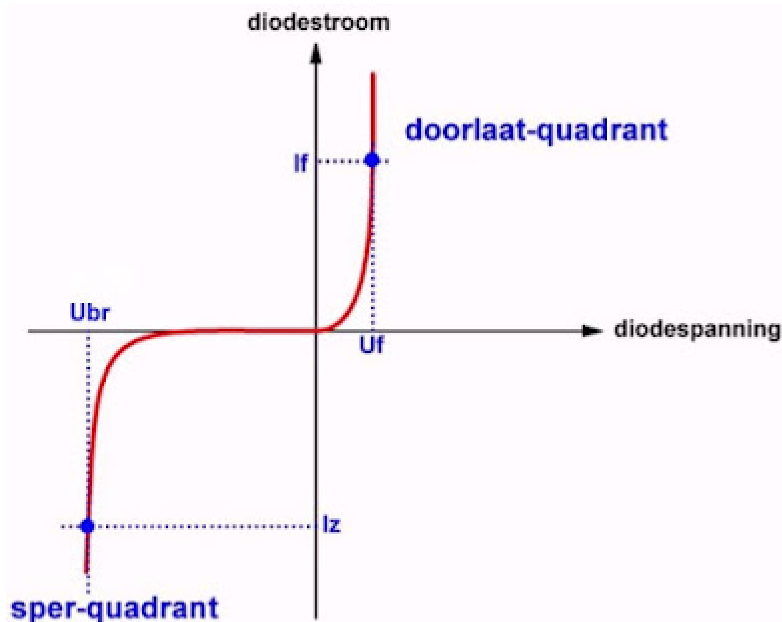
Als men die twee soorten halfgeleiders in innig contact brengt zal er een PN-junctie ontstaan. In het overgangsgebied (de PN-overgang) zullen elektronen uit het N-type materiaal de gaten in het P-type materiaal vullen. Dit veroorzaakt een zogenaamde '*depletion-zone*' waarin geen vrije ladingsdragers meer zijn.
Als men een negatieve spanning op de P-kant van de diode zet en een positieve spanning op de N-kant, zal de PN-overgang breder worden waardoor het lopen van elektrische stroom door de diode wordt geblokkeerd. De enige stroom die door het onderdeel vloeit is de zeer kleine lekstroom. Als men echter een positieve spanning op de P-kant van de diode aanlegt en een negatieve spanning op de N-kant, worden de vrije ladingsdragers aangetrokken naar de overgang, waardoor de PN-overgang smaller wordt. Er is nu een zeer lage spanning over de diode nodig om ervoor te zorgen dat er een flinke stroom door de sperlaag gaat vloeien. Die spanning wordt de '*forward spanning*' van de diode genoemd en bedraagt voor silicium ongeveer 0,65 V.



De samenstelling van een ' normale' diode. (© 2024 Jos Verstraten)

De stroom/spanning-karakteristiek van een diode
Als u een '*normale*' diode aansluit op een instelbare gelijkspanning, in doorlaatrichting geschakeld (anode positief ten opzichte van kathode), en u laat deze spanning langzaam van nul stijgen, dan zult u vaststellen dat de stroom door de diode bij een zeer lage spanning ongeveer gelijk is aan nul, maar bij een bepaalde spanning plotseling zeer groot wordt. Men zegt dat de diode gaat geleiden. Zoals reeds geschreven bedraagt deze spanning voor silicium ongeveer 0,65 V. Dit noemt men de '*forward*'- of doorlaatspanning van het onderdeel. Sluit u de spanning omgekeerd aan, dus anode negatief ten opzichte van kathode, en herhaalt u de proef dan zult u vaststellen dat u nu de spanning veel groter moet maken alvorens er een meetbare stroom door de diode vloeit. Men zegt dat de diode doorslaat, dit gebeurt bij de '*breakdown*'- of doorslagspanning. Als de spanning lager is dan deze waarde vloeit er slechts een heel kleine lekstroom door het onderdeel.
Men maakt zowel van de geleidende stroom als van de doorslagstroom praktisch gebruik bij bepaalde soorten diodes en bepaalde toepassingen.
In de onderstaande karakteristiek is:

- U_f: de forward-spanning of de geleidingsspanning
- U_{br}: de breakdown-spanning of de doorslagspanning



De stroom/spanning-karakteristiek van een 'normale' diode.
(© 2024 Jos Verstraten)

Diodes met afwijkende eigenschappen
Op de beschreven basiswerking zijn tientallen variaties verzonnen. Hoe die ontstaan? Een paar voorbeelden. Men kan stoeien met de twee soorten halfgeleidende materialen die men in innig contact brengt. Hierdoor verkrijgt men bepaalde specifieke eigenschappen, zoals het uitzenden van licht (LASER diodes en LED's). Ook kan men een extra laag tussen die N- en P-zones aanbrengen (PIN diodes). Door een van de halfgeleiders te vervangen door een metaal ontstaan weer heel andere nuttige eigenschappen (schottky diodes).

Het begrip '*negatieve weerstand*'
Alvorens wij gaan dwalen door de dierentuin die '*diode*' heet en de tientallen rare specimen gaan bewonderen, moeten wij tóch eerst even stilstaan bij het begrip '*negatieve weerstand*'. Er is namelijk een aantal diodes dat dit verschijnsel vertoont.
Volgens de bekende wet van ohm is de stroom I door een onderdeel recht evenredig met de spanning U die over dit onderdeel staat. Die evenredigheidsfactor wordt de '*weerstand*' R genoemd:
R = U / I
In de onderstaande linker grafiek is voorgesteld hoe wij dat verband grafisch in beeld kunnen brengen. De weerstand wordt voorgesteld door een rechte lijn onder een bepaalde hoek ten opzichte van de spannings-as U. Hoe steiler deze hoek, hoe lager de weerstand. De kaarsrechte lijn is de grafische voorstelling van '*als de spanning verdubbelt zal ook de stroom verdubbelen*'. Een weerstand die zó kaarsrecht verloopt voldoet aan de wet van ohm en wordt dus '*ohmse weerstand*' genoemd.
Nu zijn er echter ook onderdelen die, als de spanning erover verdubbeld, geen verdubbeling van de stroom erdoor vertonen. De stroom gaat meer of minder stijgen dan de wet van ohm voorschrijft. Die onderdelen hebben geen ohmse weerstand, maar wél een positieve weerstand. Immers, als de spanning stijgt zal ook de stroom toenemen. In de middelste grafiek is de I/U-karakteristiek van zo'n onderdeel weergegeven. Bij kleine spanningen stijgt de stroom minder snel dan ohm beweert, bij hogere spanningen stijgt de stroom sneller dan ohm voorschrijft.
Er zijn echter ook onderdelen die zich heel vreemd gedragen. Als de spanning erover stijgt zal de stroom erdoor afnemen! Dat verschijnsel kunnen wij grafisch voorstellen door het groene deel van de rechter I/U-karakteristiek. Er bestaat een aantal diodes die zo'n karakteristiek heeft.
Hoe ontstaat een dergelijk gebied met negatieve weerstand? Om dat te begrijpen is een grondige studie van de kwantummechanica vereist en dan met name het verschijnsel dat '*kwantummechanische tunneling*' heet. Maar dat gaan wij hier niet doen. Wat is het voordeel van zo'n onderdeel met negatieve weerstand? U kunt er bijvoorbeeld HF-oscillatoren mee

ontwerpen! Daar geven wij, in dit artikel, een mooi voorbeeld van bij de bespreking van de tunneldiode.
Het verschijnsel dat sommige halfgeleiders onder bepaalde voorwaarden een gebied met negatieve weerstand vertonen werd aangetoond in 1963 door J.B. Gunn.



Het begrip 'negatieve weerstand' toegelicht. (© 2024 Jos Verstraten)

Soorten diodes
Naast de gewone silicium diodes zoals de 1N4148 of de 1N4007, die u gebruikt om wisselspanningen gelijk te richten of om stroom maar in één richting door een schakeling te laten vloeien, bestaat er tientallen gespecialiseerde diodes. In het onderstaande lijstje zijn alle diode-namen verzameld die wij na een uitgebreide zoektocht op internet vonden.

- Avalanche diode
- Backward diode
- BARRIT diode
- Constant current diode
- DOVETT diode
- Esaki diode (zie tunnel diode)
- Foto diode
- Fast recovery diode
- Gunn diode
- Hot carrier diode (zie schottky diode)
- IMPATT diode
- InP diode
- LASER diode
- Light Emitting Diode (LED)
- PIN diode
- Puntcontact diode
- SNAP diode (zie step recovery diode)
- Schottky diode (hot carrier diode)
- Shockley diode
- Stabistor diode
- Step recovery diode (SNAP diode)
- TAZ diode (zie transient voltage suppression diode)
- TRAPATT diode
- Transient voltage suppression diode (TAZ diode)
- Tunnel diode (esaki diode)
- Varicap diode (varactor diode)
- Zener diode

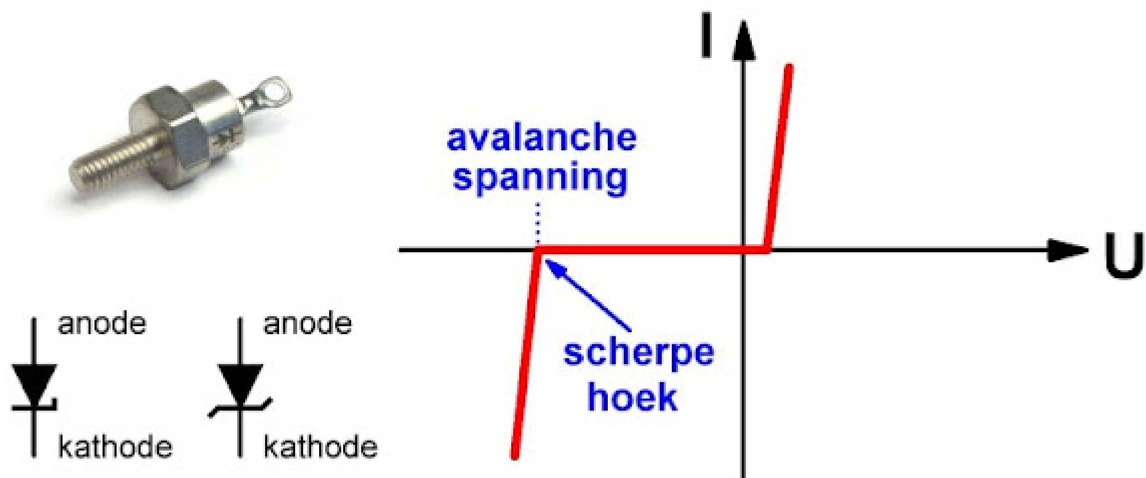
De avalanche diode

Wat is een avalanche diode?
Een avalanche diode is zó ontworpen dat het onderdeel een zeer grote stroom kan geleiden bij de breakdown-spanning, zonder dat de diode defect raakt. Zo'n diode wordt dus altijd

invers gepolariseerd, dus de anode negatief ten opzichte van de kathode. Een andere naam voor dit onderdeel is 'lawine diode'.

De voornaamste kenmerken van de avalanche diode
Het doorslagpunt van een avalanche diode is scherp en goed gedefinieerd. Hierdoor kan de diode worden gebruikt in toepassingen die een nauwkeurige spanningsregeling of spanningsreferentie vereisen. In tegenstelling tot andere diodes blijft de doorslagspanning van een avalanche diode relatief stabiel bij temperatuurschommelingen.
Avalanche diodes reageren snel op spanningsveranderingen, wat dit onderdeel uitermate geschikt maakt voor het onderdrukken van zeer steile stoorpulsen op een gelijkspanning. De capaciteit van een avalanche diode is over het algemeen lager in vergelijking met andere diodes, zoals zener diodes, waardoor ze ideaal zijn voor hoogfrequente toepassingen.

Uiterlijk, symbool en karakteristiek
Omdat avalanche diodes in staat moeten zijn flinke vermogen te absorberen zijn zij ondergebracht in metalen behuizingen die u gemakkelijk op een koelplaat kunt bevestigen. In de onderstaande figuur is zo'n behuizing voorgesteld, samen met de twee gebruikte symbolen en de I/U-karakteristiek.

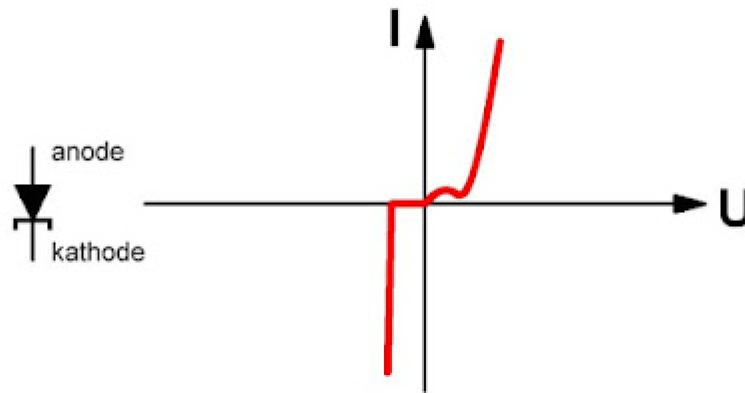


Gegevens van een avalanche diode. (© 2024 Jos Verstraten)

De backward diode

Wat is een backward diode?
Zoals de naam reeds doet vermoeden gedraagt een dergelijke diode zich anders dan een normale diode. De diode gaat namelijk ook geleiden als u er een spanning in sperrichting over zet. Bovendien gaat de diode al geleiden bij een spanning in het mV-gebied en doet hij dat uiterst snel.

Toepassingen
De backward diode vindt zijn toepassingen in zeer hoogfrequente schakelingen en in de microgolf industrie, waar het er op aan komt uiterst kleine wisselspanningen gelijk te richten. Dergelijke onderdelen zijn bruikbaar als detector voor signalen tot niet minder dan 40 GHz.



Symbool en I/U-karakteristiek van de backward diode.
(© 2024 Jos Verstraten)

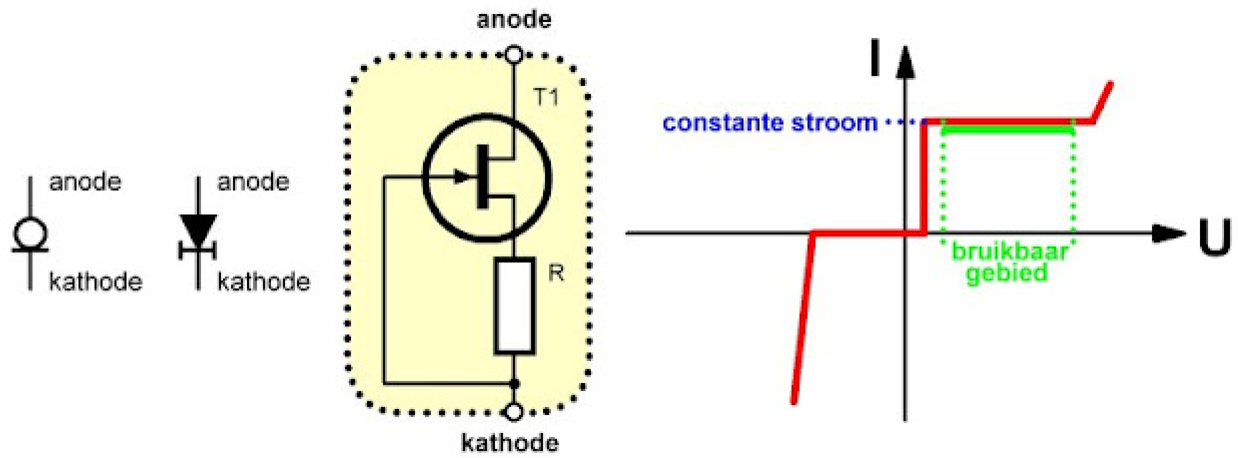
De BARRIT diode

Wat is een BARRIT diode?
BARRIT is het letterwoord van '***BARR****ier* ***I****njection* ***T****ransit time*'. Dit onderdeel heeft een gebied in doorlaat waar een negatieve weerstand heerst. In dit gebied ingesteld kan een BARRIT diode worden gebruikt voor het genereren van zeer hoge frequenties in het GHz-gebied. Het voordeel van een BARRIT diode is dat dit onderdeel vrij weinig eigen ruis produceert.

Toepassingen
BARRIT diodes worden voornamelijk gebruikt in toepassingen zoals radar, communicatie-apparatuur en andere systemen die werken met zeer hoge frequenties. U, als hobbyist, zult er wel nooit mee te maken krijgen.

De constant current diode

Wat is een constant current diode?
Zoals de naam doet vermoeden levert zo'n onderdeel een constante stroom aan een belasting. Die stroom is onafhankelijk van de spanning over de diode. Eigenlijk hoort zo'n onderdeel niet thuis in een artikel over diodes. De constructie is namelijk gebaseerd op een FET, waarbij de drainstroom wordt vastgelegd door de gate/source-spanning. Dat een CCD, zo wordt het onderdeel ook wel eens genoemd, hier een vreemde eend in de bijt is wordt geïllustreerd door het in de onderstaande figuur links voorgestelde oude symbool, dat niets te maken heeft met het diode-symbool. Dit oude symbool wordt in de praktijk nog steeds vaker gebruikt dat het genormeerde diode-symbool, dat ook in de onderstaand figuur is opgenomen.



Gegevens van de constant current diode. (© 2024 Jos Verstraten)

De J5xx en CLxxM35 serie
CCD's zijn goedkope en handige onderdelen om bijvoorbeeld een LED te voeden met een constante stroom uit een sterk variërende voedingsspanning. Ook voor het voeden van een zener diode met een constante stroom kunt u zo'n diode toepassen. Diverse fabrikanten brengen dan ook CCD's op de markt. Een van de bekendste series is de J5xx. Deze serie gaat van de J500 die een stroom van 0,24 mA levert tot de J511 die 4,70 mA levert.
Voor grotere stromen kunt u een beroep doen op de CLxxM35 serie, die stromen levert van 15 tot 40 mA.

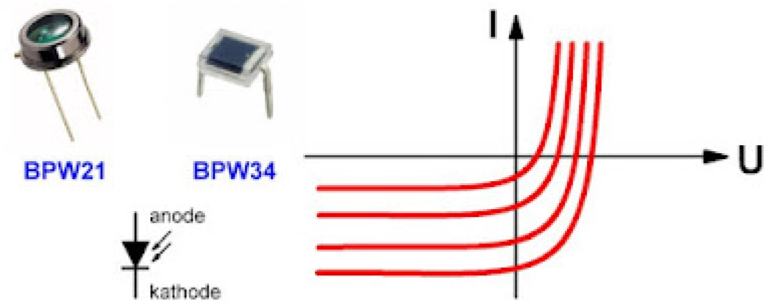
De DOVETT diode

Wat is een DOVETT diode?
DOVETT is het letterwoord van '***DO**uble **VE**locity **T**ransit **T**ime*'. Deze diode is een zeer gespecialiseerde hoogfrequent halfgeleidercomponent, verwant aan de BARRIT diode.

De foto diode

Wat is een foto diode?
Een foto diode kan licht detecteren en die detectie omzetten in een elektrische stroom. Zo'n diode werkt op basis van het '*fotovoltaïsche effect*', waarbij fotonen die op de diode terecht komen elektronen losmaken in het halfgeleidermateriaal. Die elektronen absorberen namelijk de energie van de fotonen, waardoor zij meer kinetische energie verkrijgen en beweeglijker worden. Zij zijn dan in staat de grenslaag te doorbreken met als gevolg dat er een elektrische stroom door de diode gaat lopen.
Een foto diode moet dus altijd in sperrichting op een voedingsspanning worden aangesloten. Er gaat dan een zeer kleine lekstroom, die men de '*donkerstroom*' noemt, lopen. Op het moment dat een lichtkwantum de diode treft zal de lekstroom even stijgen naar een waarde die men de '*fotostroom*' noemt. Deze stijging van de lekstroom is goed meetbaar. Om een voorbeeld te geven: bij de BPW21 bedraagt de donkerstroom bij 5 V voedingsspanning ongeveer 2 nA. De fotostroom is bij 10 lux belichting 100 nA.

Eigenschappen
In de onderstaande afbeelding hebben wij het symbool, twee voorbeelden en de karakteristieken van de foto diode samengevat. Iedere grafiek uit de grafiekenbundel in het sper-quadrant komt overeen met een bepaalde intensiteit van de belichting die op de foto diode invalt.



Gegevens van de foto diode. (© 2024 Jos Verstraten)

De fast recovery diode

Wat is een fast recovery diode?
Dit is een diode die is ontworpen om zeer snel om te schakelen tussen geleiden en sperren. Dat is vooral van belang bij het omschakelen van geleiden naar sperren, een actie die bij een normale diode veel tijd kost omdat een heleboel vrije ladingsdragers eerst moeten afvloeien naar hun respectievelijke zones. Dergelijke diodes hebben een 'reverse recovery time' (t_{rr}) van minder dan 100 ns. Deze grootheid is bij normale diodes zoals de 1N4007 vaak groter dan 1 µs.

Constructie
Fast recovery diodes worden gemaakt uit gallium-arsenide (GaAs) waar een beetje goud is aan toegevoegd. Het is deze toevoeging die ervoor zorgt dat de hersteltijd bij het omschakelen van geleiden naar sperren zo klein is. Dit goud vormt namelijk zogenaamde '*recombination centers*' in het halfgeleider materiaal die ervoor zorgen dat de vrije ladingsdragers snel weer kunnen afvloeien naar hun zones.

Toepassing
Het voordeel van dit snel schakelen is dat er weinig vermogensverlies in de diode optreedt tijdens het omschakelen. Fast recovery diodes worden tegenwoordig vaak toegepast als gelijkrichter vanwege de populariteit van de schakelende voedingen die op hoge frequenties werken.

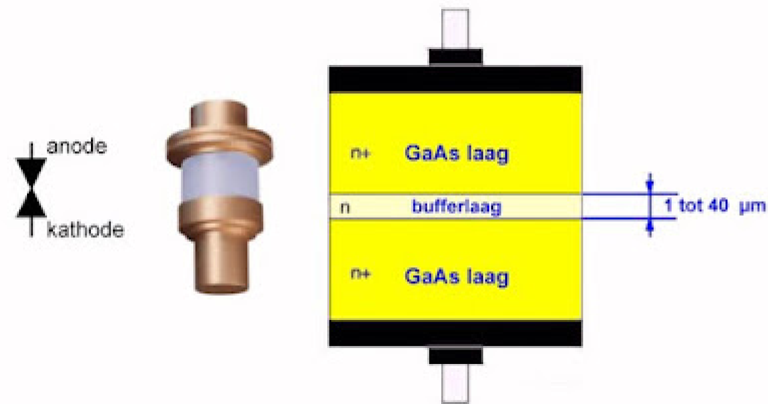
De gunn diode

Wat is een gunn diode?
Ook een gunn diode maakt gebruik van het feit dat bepaalde halfgeleiders, zoals gallium-arsenide (GaAs), bij een bepaalde waarde van de spanning een negatieve weerstand vertonen. Dit zorgt ervoor dat als de spanning over de diode toeneemt de stroom door de diode afneemt.
Een gunn diode bevat echter geen PN-junctie, zoals de meeste diodes! Dit onderdeel bestaat uitsluitend uit een N-type halfgeleider van gallium-arsenide (GaAs), gallium-nitride (GaN) of indium-fosfide (InP). Er wordt gewerkt met drie lagen, de middelste laag krijgt echter een minimale doping. Deze laag heeft een dikte van 40 tot 1 µm, afhankelijk van de frequentie die de gunn diode moet genereren.

Toepassingen van gunn diodes
Gunn diodes worden voornamelijk gebruikt in toepassingen waar microgolf frequenties nodig zijn, zoals in zeer hoogfrequente oscillatoren en bewegingssensoren die werken volgens het radar-principe.

Symbool en uiterlijk

In de onderstaande figuur zijn het symbool, een voorbeeld en de interne structuur verzameld.



Gegevens van de gunn diode. (© 2024 Jos Verstraten)

De IMPATT diode

Wat is een IMPATT diode?
IMPATT is het letterwoord van '***IMP****act ionization* ***A****valanche* ***T****ransit* ***T****ime*'. Ook dit onderdeel heeft, net zoals een gunn diode, een gebied met negatieve weerstand en wordt dus voornamelijk toegepast als GHz oscillator in zeer hoogfrequente toepassingen.

Vergelijking met een gun diode
Het nadeel van een IMPATT diode ten opzichte van een gunn diode is dat het eerste type veel meer eigen ruis produceert.

De InP diode

Wat is een InP diode?
Een InP diode is een diode die is gemaakt van indium-fosfide (InP). Deze onderdelen worden gebruikt in lasers en fotodetectoren voor glasvezelcommunicatie, omdat InP geschikt is voor het genereren en detecteren van licht in het infrarode spectrum, typisch rond 1,3 tot 1,6 µm. Deze golflengtes worden veel gebruikt in glasvezel telecommunicatie.

Toepassingen
InP diodes worden voornamelijk toegepast in grote afstand glasvezelverbindingen, tot wel 5.000 km, waarbij snelheden van meer dan 10 Tbit/s tot de mogelijkheden behoren. De golflengtes die hierbij worden gebruikt, tussen ongeveer 1.510 nm en 1.600 nm, vertonen de kleinste verzwakking in glasvezels, ongeveer slechts 0,2 dB/km.



Voorbeelden van InP diodes.
(© Hangzhou BrandNew Technology Co. Ltd.)

De LASER diode

Wat is een LASER diode?

LASER is het letterwoord van '***L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation*', vertaald '*lichtversterking door gestimuleerde emissie van straling*'. Een LASER diode is een halfgeleider die zogenaamd coherent licht produceert. Dat is licht waarbij de golven in fase en in dezelfde richting in een zeer smalle bundel worden uitgestraald. Het golflengte spectrum is zeer smal, men kan in de praktijk zelf stellen dat een LASER diode monochroom licht uitstraalt, dus licht met slechts één golflengte en kleur.

Werking van de LASER diode

De halfgeleider bestaat uit gallium-arsenide (GaAs) of indium-fosfide (InP). Deze materialen vormen een PN-overgang, hetgeen zeer essentieel is voor het genereren van het licht. Bij een bepaalde spanning over die PN-sperlaag worden elektronen en gaten geïnjecteerd in deze overgangsregio. In de sperlaag vindt vervolgens een recombinatie van een elektron met een gat plaats. Het elektron gaat hierbij over van een hoger naar een lager energieniveau. Het teveel aan energie wordt omgezet in straling onder de vorm van een uitgezonden foton, een lichtdeeltje. Dit noemt men de '*spontane emissie*'.
Wat de LASER diode onderscheidt van een gewone LED is dat de fotonen die worden gegenereerd andere elektronen stimuleren om ook fotonen met dezelfde fase, golflengte en richting uit te zenden. Dit wordt de '*gestimuleerde emissie*' genoemd. Dit leidt tot de '*coherente lichtemissie*' die kenmerkend is voor een LASER diode.
In een LASER diode worden de randen van de halfgeleider gepolijst en gecoat om een optische resonator volgens Fabry-Pérot te vormen. Dit zorgt ervoor dat het licht heen en weer wordt weerkaatst binnen de diode, waardoor de lichtintensiteit wordt versterkt tot het coherente licht de grenslaag tussen chip en omgeving doorbreekt en wordt uitgestraald via één van de uiteinden. Door diffractie waaiert de straal echter snel uiteen nadat deze de chip heeft verlaten. Om de typische zeer smalle laserstraal te verkrijgen moet een lens worden gebruikt om de uitdijende straal weer te bundelen.

De kleur van het licht

De keuze van het halfgeleidermateriaal bepaalt de golflengte van de uitgezonden lichtstraal, die in de huidige LASER diodes varieert van infrarood tot het ultraviolette spectrum.

- Infrarood:
  Gallium-arsenide (GaAs) of aluminium-gallium-arsenide (AlGaAs) met golflengtes tussen 750 nm en 900 nm.
- Rood:
  Gallium-arsenide (GaAs) of aluminium-gallium-arsenide (AlGaAs) met golflengte van 630 nm tot 680 nm.
- Groen en blauw:
  Indium-gallium-nitride (InGaN) gecombineerd met fosfor voor groen licht van 515 nm tot 535 nm en blauw licht met als golflengte 450 nm tot 470 nm.
- Ultraviolet:
  Aluminium-gallium-nitride (AlGaN) met als golflengtes 350 nm (nabij-UV) tot onder 300 nm (ver-UV).

Toepassingen

LASER diodes worden uiteraard massaal geproduceerd, omdat zij in iedere CD- of DVD-speler aanwezig zijn voor het beschijnen van het reflecterend oppervlak van het schijfje. Bovendien worden zij toegepast bij glasvezel communicatie, bij optische transmissie van digitale audio, in barcode lezers, laserpointers, -printers en -scanners.

Praktische uitvoering
In de onderstaande foto ziet u een voorbeeld van een zeer goedkope (€ 0,50) Chinese LASER diode. Die straalt rood licht uit met een golflengte van 650 nm, levert een vermogen van 50 mW, heeft een diameter van 9 mm en wordt gevoed uit een gelijkspanning van 3,0 V. Er zijn drie leverbare types, namelijk met een puntvormige, streepvormige of kruisvormige straal.



Een voorbeeld van een goedkope rode LASER diode. (© AliExpress)

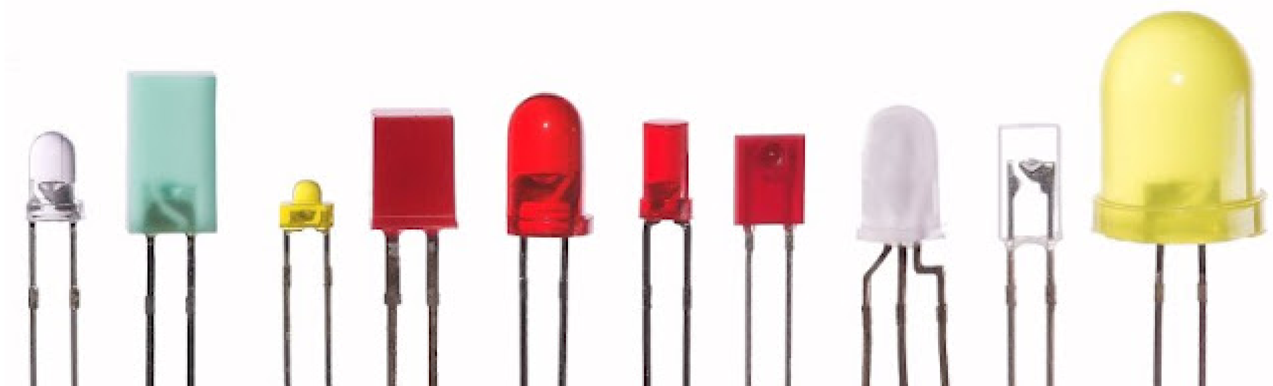
Opmerking: drie aansluitdraadjes
Er zijn LASER diodes te koop die drie aansluitingen hebben. Deze hebben een geïntegreerde foto diode die een terugkoppeling geeft van de intensiteit van de uitgezonden straal. Op deze manier kan men een regelsysteem ontwerpen dat het uitgezonden vermogen constant houdt.

De Light Emitting Diode (LED)

Wat is een Light Emitting Diode?
Een tamelijk overbodige vraag, want u weet uiteraard wat een LED is. Een Light Emitting Diode (LED) zendt licht uit als u er een gelijkstroom doorheen stuurt. Een LED werkt op basis van het principe van '*elektroluminescentie*', waarbij de PN-overgang licht uitstraalt als elektronen en gaten recombineren in het materiaal. Dit kan zichtbaar licht in diverse kleuren zijn, maar ook infrarode of ultraviolette straling.

Het halfgeleider materiaal bepaalt de kleur
Welke kleur wordt uitgestraald hangt volledig af van de toegepaste halfgeleider:
- Infrarood en rood: gallium-aluminium-arsenide (AlGaAs)
- Amber: aluminium-indium-gallium-fosfide (AlInGaP2)
- Oranje en geel: gallium-arseen-fosfide (GaAsP)
- Groen: gallium-fosfide (GaP)
- Blauw: gallium-nitride (GaN), zink-selenide (ZnSe) of silicium-carbide (SiC)
- Ultraviolet: indium-gallium-nitride (InGaN)

Door meerdere chip's in één behuizing onder te brengen kan men meerkleuren LED's fabriceren.



Diverse uitvoeringen van de Light Emitting Diode. (© 2005, Afrank99 ~ WikiData)

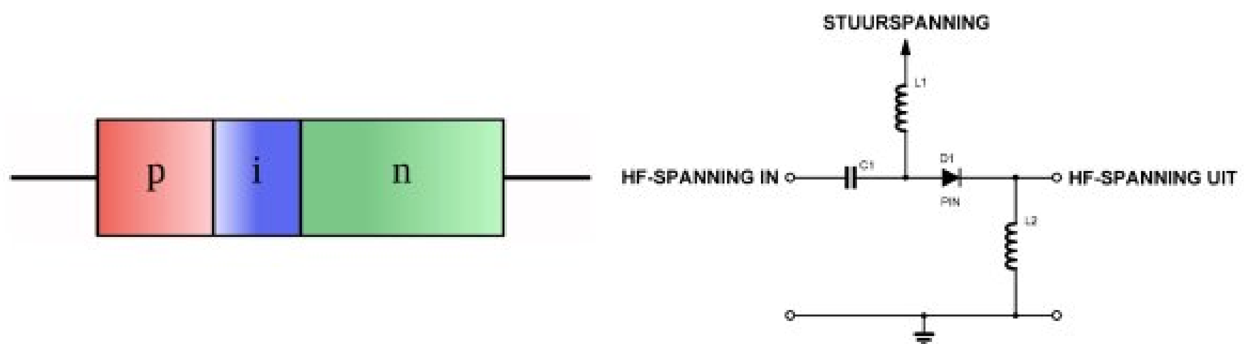
De brandspanning van een LED
LED's zijn stroomgestuurde onderdelen. Dat wil zeggen dat u er een constante stroom doorheen moet sturen. Door de fysische werking in de chip ontstaat er dan een vrijwel constante spanning over de LED, waarvan de waarde afhankelijk is van het gebruikte materiaal en dus van de kleur. De brandspanning varieert van 1,1 V voor een IR-LED tot 3,5 V voor een blauwe LED.

De PIN diode

Wat is een PIN diode?
Een PIN diode wordt gekenmerkt door een extra laag tussen de N- en de P-lagen. Deze extra laag wordt de '*intrinsieke*' laag genoemd omdat deze laag nauwelijks dedoteerd is. Deze intrinsieke laag I tussen de N en de P verklaart de naam van het onderdeel. Deze specifieke samenstelling verleent de PIN diode unieke eigenschappen, waardoor deze geschikt is voor een heleboel toepassingen in de HF-elektronica.

Werking van de PIN diode
Het ontbreken van vrije ladingsdragers in de I-laag zorgt ervoor dat deze laag vrij hoog-ohmig is. In geleidende toestand worden de P- en N-laag geactiveerd en kan er echter stroom door de diode stromen, net zoals bij een gewone diode. Als een PIN-diode in sper wordt geschakeld werkt de I-laag als een perfecte isolator, waardoor de diode zeer hoge spanningen kan weerstaan. De I-laag zorgt bovendien voor een grotere afstand tussen de ladingsdragers, waardoor de sper-capaciteit van de diode laag blijft. Dat is natuurlijk een voorwaarde voor gebruik in HF-schakelingen.

Toepassingen
De PIN diode wordt bijvoorbeeld gebruikt voor het schakelen van HF-signalen. In de onderstaande figuur is het standaard schema voor een dergelijke toepassing weergegeven. Als de stuurspanning 0 V is zal de PIN diode D1 sperren. Deze vormt een barrière tussen de HF-ingang en de HF-uitgang. Als de stuurspanning positief wordt gaat de PIN-diode geleiden. Er vloeit dan een gelijkstroom door L1, D1 en L2. De diode krijgt nu een heel lage inwendige weerstand en het HF-ingangssignaal wordt doorgekoppeld naar de uitgang. De twee spoelen L1 en L2 verhinderden dat het HF-signaal afvloeit naar de massa of naar de voeding.



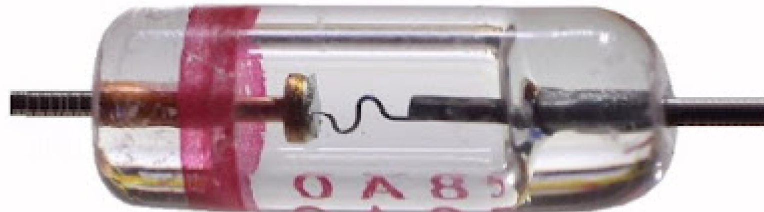
Constructie en toepassing van een PIN diode. (© 2024 Jos Verstraten)

De puntcontact diode

Wat is een puntcontact diode?
Een puntcontact diode is een type diode waarbij de diode-werking wordt verkregen door een zeer dunne metalen draad contact te laten maken met een halfgeleidermateriaal, meestal

germanium. Dit zorgt dus voor een heel klein gebied waar de elektronen-doorgang plaats vindt.
Een puntcontact diode bestaat uit een blokje metaal van het N-type halfgeleider, waarop een naald van een metaal uit groep drie van het periodiek systeem der elementen wordt geplaatst. Deze groep bestaat uit scandium (Sc), yttrium (Y), lanthaan (La) en actinium (Ac). Dit metaal migreert dan in de halfgeleider waardoor er ter plekke een spontane PN-overgang wordt opgebouwd die als diode werkt.

Weinig praktisch nut
De puntcontact diode was het eerste type diode dat werd ontworpen. Op dit moment heeft een dergelijke diode voornamelijk nostalgische betekenis, de goede HF-eigenschappen worden nu ook door andere typen diodes aangeboden.



De constructie van een puntcontact diode.
(© Marc Doigny ~ Belgium Model Academy)

Kristal radio
Germanium puntcontact diodes worden nog wél toegepast in bouwpakketjes van '*kristal radio's*' voor de jeugd. In die pakketjes wordt de meest primitieve vorm van radio-ontvangst gedemonstreerd, waarbij een puntcontact diode zoals de OA85 wordt toegepast voor het demoduleren van het radio-signaal, zodat het audio-signaal hoorbaar wordt in een kristal koptelefoontje. De OA85 is ook nog steeds los te koop voor ongeveer € 3,85.

De schottky diode (hot carrier diode)

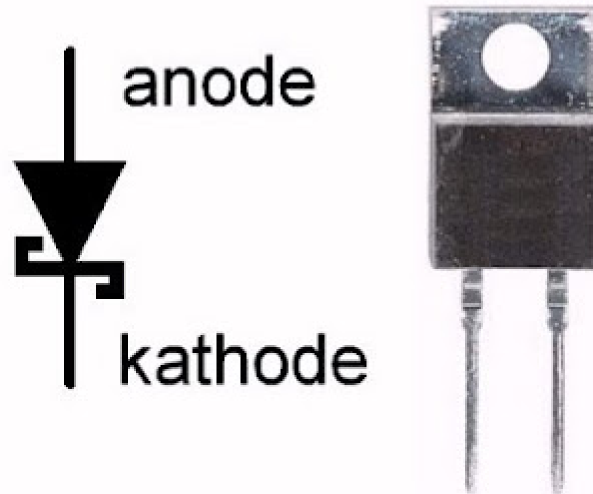
Wat is een schottky diode?
De voornaamste eigenschappen van een schottky diode, ook wel hot carrier diode genoemd, zijn een veel lagere geleidingsspanning dan Ge- en Si-diodes en veel snellere schakeltijden. Deze eigenschappen worden veroorzaakt door de afwijkende constructie van een schottky diode. Het belangrijkste verschil tussen een schottky diode en een gewone diode ligt in de manier waarop de overgang is gevormd. In plaats van de normale PN-overgang tussen twee halfgeleidende materialen treft u bij een schottky-diode een overgang aan tussen een metaal en een N-type halfgeleider. Dit zorgt voor de unieke eigenschappen, zoals een lagere spanningsval in doorlaatrichting en zeer snelle schakeltijden. De gelijkrichtende werking van een dergelijke overgang werd al in 1874 ontdekt door Ferdinand Braun. In 1938 formuleerde Schottky de wiskundige theorie die het schottky effect volledig verklaarde.

Zeer lage geleidingsspanning
Een Si-diode heeft een geleidingsspanning van ongeveer 0,65 V, een Ge-diode ongeveer 0,35V. Als u een Si-diode gebruikt in een zware vermogen gelijkrichter, waar een stroom van 10 A door de diode vloeit, verliest u in de diode een vermogen van 0,65 V maal 10 A is gelijk aan 6,5 W. Een schottky diode heeft een geleidingsspanning van ongeveer 0,25 V. In dezelfde toepassing verliest u over de gelijkricht diode slechts 2,5 W. Dit maakt de voeding niet alleen veel efficiënter, maar maakt ook de koelingsproblemen veel beter oplosbaar.

Snelle schakeltijd
Schottky diodes kunnen zeer snel omschakelen van geleiding naar sper en vice versa. Bij een gewone Si-diode bedraagt deze meer dan 100 ns. Bij een schottky diode is dat ongeveer

100 ps voor de kleine dioden tot 10 ns voor de vermogensdioden. Dat maakt hun tot de ideale onderdelen voor gebruik in de moderne snel schakelende voedingen.

Afwijkend symbool
Om het verschil tussen een Ge- of Si-diode en een schottky diode ook in schema's duidelijk te maken heeft men voor deze diode een afwijkend symbool verzonnen. In de onderstaande afbeelding is dit symbool voorgesteld, samen met een voorbeeld van een schottky diode: de MBR1040 met een stroomcapaciteit van 10 A.



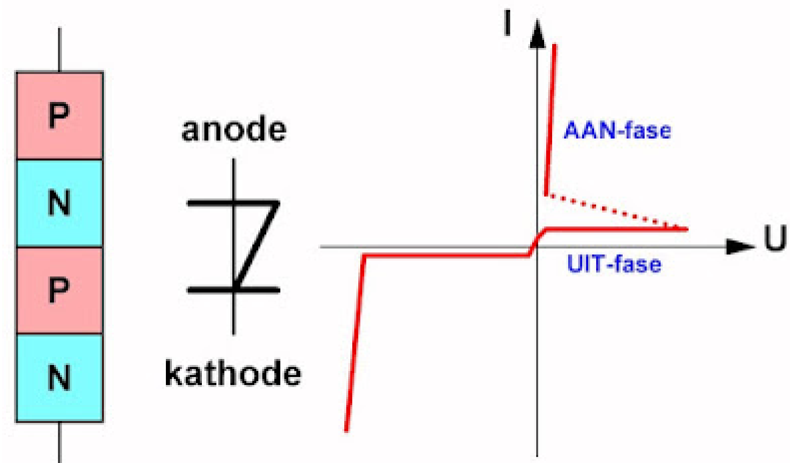
Het symbool en het uiterlijk van een schottky diode.
(© 2024 Jos Verstraten)

De shockley diode

Wat is een shockley diode?
De shockley diode werd in de jaren 1950 uitgevonden door William Shockley. In plaats van één NP-overgang bevat een dergelijk onderdeel twee overgangen. Vandaar dat deze diode ook wel '*vierlaags diode*' wordt genoemd. De diode bestaat uit twee P-type en twee N-type halfgeleidermaterialen die afwisselend zijn geplaatst.

Kenmerken van de shockley diode
Een shockley diode gedraagt zich als een AAN/UIT-schakelaar. In de uitgeschakelde toestand, met geen of slechts een kleine spanning over het onderdeel, laat de diode geen stroom door (UIT-fase). Als men de spanning over de diode verhoogt tot een bepaalde drempel schakelt de diode om (AAN-fase) en laat opeens stroom door.

Twee stabiele toestanden
Een shockley diode kan zich dus in twee stabiele toestanden bevinden: een hoog-impedantie toestand (UIT-fase) en een laag-impedantie toestand (AAN-fase). Als de diode naar de AAN-fase gaat, blijft zij in deze fase tot de spanning over het onderdeel daalt tot een bepaalde waarde.

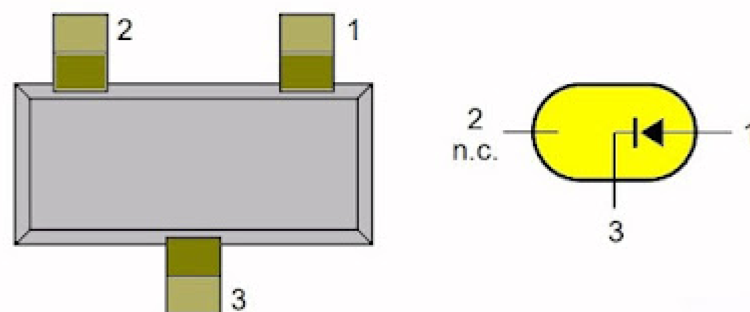


Het symbool en de karakteristiek van een shockley diode.
(© 2024 Jos Verstraten)

De stabistor diode

Wat is een stabistor diode?
Een stabistor diode wordt gekenmerkt door een zeer stabiele geleidingsspanning die bovendien tamelijk onafhankelijk is van de junctie-temperatuur. Dat is een groot verschil met standaard Si-dioden, waarbij de geleidingsspanning zelfs kan worden gebruikt als temperatuurmeter! Om deze eigenschap te bereiken wordt gebruik gemaakt van planar epitaxial technologie, waarbij soms tot wel vier PN-overgangen worden gecombineerd.

BAS17
Een typisch voorbeeld van een stabistor diode is de Europese BAS17, die door diverse fabrikanten op de markt wordt gebracht en te koop is voor een halve euro. Deze diode levert een vrij stabiele spanning van 0,790 V bij een diodestroom van 10 mA.



De stabistor diode BAS17. (© 2003 NXP Semiconductors)

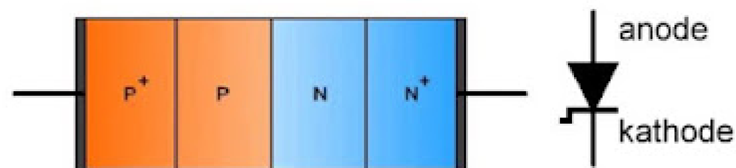
De step recovery diode (SNAP diode)

Wat is een step recovery diode?
Een step recovery diode, ook bekend als SNAP diode, is een speciale diode die heel erg snel kan schakelen van de geleidende naar de sperrende situatie. Deze diode wordt dan ook voornamelijk gebruikt in toepassingen waarbij een zeer snelle schakeling wordt vereist, zoals in microgolf technologieën.

De werking

De diode heeft een gefaseerde PN-overgang. Dichter bij het junctie-oppervlak neemt de doping af. Als de diode geleidt wordt een grote hoeveelheid lading opgeslagen in de PN-overgang. Schakelt men de diode om naar sper dan vloeit er heel even een inverse stroom door de diode die de opgeslagen lading verwijdert. Het is de abruptheid waarmee deze sperstroom ophoudt die kenmerkend is voor de step recovery diode. Het wegvallen van deze inverse diodestroom is een actie die vaak in een paar ps plaats vindt!

Samenstelling en symbool
In de onderstaande figuur wordt de samenstelling en het symbool van de step recovery diode weergegeven.



Samenstelling en symbool van de step recovery diode.
(© 2024 Jos Verstraten)

Toepassingen
Step recovery diodes worden bijvoorbeeld toegepast voor het genereren van hele steile en smalle pulsen in het picoseconde bereik.

De TRAPATT diode

Wat is een TRAPATT diode?
TRAPATT is het letterwoord van '***TRA****pped* ***P****lasma* ***A****valanche* ***T****riggered* ***T****ransit*'. Het is een halfgeleiderdiode die wordt gebruikt in microgolf toepassingen, zoals VHF vermogensversterkers en oscillatoren.

Werking van de TRAPATT diode
Een TRAPATT diode werkt volgens het '*avalanching*' principe en het transport van geladen deeltjes door het │P+│N│N+│ halfgeleidermateriaal. Bij een bepaalde waarde van de sperspanning over de diode gaan elektronen en gaten elkaar versterken door onderlinge botsingen. Er ontstaat als het ware een lawine van ladingsdragers in de sperlaag. Er ontstaat een zeer sterke ionisatie-golf in de diode die '*plasma*' wordt genoemd. Deze plasma-golf verplaatst zich door het halfgeleidermateriaal, waardoor er een zeer snelle spanningsvariatie over de diode ontstaat. Dit resulteert in het ontstaan van microgolf oscillaties in het GHz gebied.

Toepassingen
De TRAPATT diode kan zeer efficiënt microgolf-energie genereren, waardoor dit onderdeel zeer geschikt is voor het maken van VHF-oscillatoren zoals gebruikt in radar. Moderne TRAPATT diodes leveren, bij een serieschakeling van vijf diodes, een vermogen van 1,2 kW bij een frequentie van 1,1 GHz.

De transient voltage suppression diode (TAZ diode)

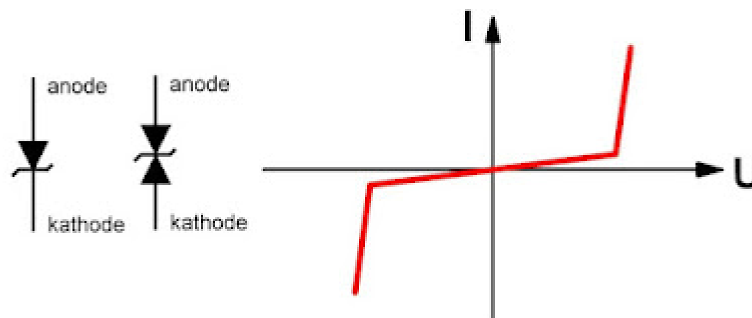
Wat is een transient voltage suppression diode?
Een dergelijke diode is ontworpen met slechts één specifiek doel, namelijk gevoelige elektronische schakelingen te beschermen tegen hoge pieken in de voedingsspanning. Bij de

normale voedingsspanning van de schakeling is de diode inactief en heeft een zeer hoge weerstand. Als de spanning echter de '*avalanche breakdown voltage*' van de diode overschrijdt gaat het onderdeel geleiden en voert de hoge spanning af naar de massa of de aarde.

Eigenschappen
TVS diodes reageren zeer snel op een overspanning, vaak binnen een paar nanosecondes, en zijn ideaal voor het afvoeren van zeer snelle en smalle stoorpulsen, zoals bij een blikseminslag in de buurt.
Men heeft zowel unidirectionele als bidirectionele types ontwikkeld. De eerste soort is bruikbaar voor het beveiligen van gelijkspanningen, de tweede voor het beveiligen van wisselspanningen.
TVS diodes kunnen gedurende een zeer korte tijd heel grote vermogens verwerken en afvoeren naar de massa, soms wel 4 kW (8/20 µs).

Wat betekent 8/20 µs?
De notatie '*8/20 µs*' beschrijft een specifieke vorm van een overspanningspuls. De 8 µs verwijst naar stijgtijd van de puls, dus de tijd die de spanning nodig heeft om te stijgen van 10 % naar 90 % van de piekwaarde. De 20 µs verwijst naar de tijd voordat de spanning weer is afgenomen tot 50 % van de piekwaarde. Deze pulsvorm is een gestandaardiseerde meetpuls om de specificaties van TVS en TAZ diodes te kunnen vergelijken.

Symbolen en I/U-karakteristiek
In de onderstaande figuur zijn de symbolen voor unidirectionele en bidirectionele TVS diodes en de I/U-karakteristiek van een bidirectionele TVS diode samengevat.



Symbolen en karakteristiek van TVS diodes. (© 2024 Jos Verstraten)

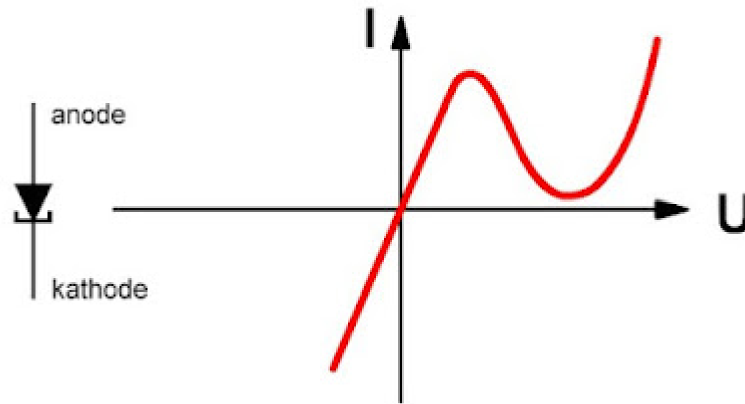
De tunnel diode (esaki diode)

Wat is een tunnel diode?
De tunnel diode (esaki diode) was de eerste halfgeleiderdiode die zich onderscheidde van de '*normale*' diodes door de unieke eigenschap van het hebben van een negatieve weerstand. Dat was ongekend en is alleen maar te verklaren door gebruik te maken van de kwantummechanica. De traditionele mechanica laat ons volledig in de steek als wij dit verschijnsel willen verklaren. Het verschijnsel dat die negatieve weerstand veroorzaakt staat bekend onder de naam '*kwantumtunneling*'.
De diode ontleent zijn tweede naam aan Leo Esaki, die in 1973 samen met Ivar Giaever en Brian Josephson de Nobelprijs voor de Natuurkunde kreeg voor zijn experimentele ontdekkingen over tunneleffecten in halfgeleiders en supergeleiders.

Werkingsprincipe
Tunnel diodes worden gefabriceerd uit gallium-arsenide (GaAs). De P- en N-gebieden worden zwaarder verzadigd dan bij klassieke diodes. De diode krijgt een zeer dunne sperlaag tussen de P-type en N-type halfgeleiders. Als men een spanning over de diode aanlegt kunnen

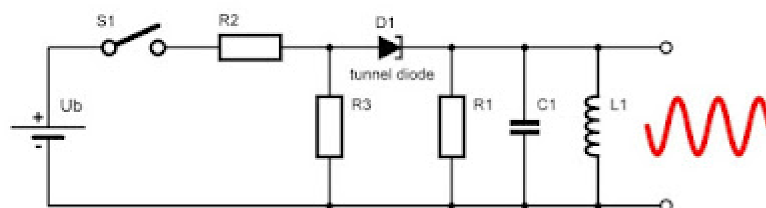
elektronen dankzij het kwantummechanische tunneling effect door deze barrière '*tunnelen*'. Dat gebeurt zelfs bij lage spanningen over de diode. Dit heeft tot gevolg dat, onder bepaalde omstandigheden, de diode een gebied gaat krijgen waar de weerstand negatief is. De stroom door de diode neemt dus af als de spanning over de diode toeneemt.

Symbool en I/U-karakteristiek
In de onderstaande afbeelding zijn het symbool en de stroom/spanning-karakteristiek van de tunnel diode samengevat.



Symbool en karakteristiek van de tunnel diode.
(© 2024 Jos Verstraten)

Toepassingen van tunnel diodes
Tunnel diodes kunnen zeer snel schakelen. Vandaar dat zij voornamelijk worden toegepast in schakelingen die met microgolven werken. Een typische toepassing van een tunnel diode is voorgesteld in de onderstaande figuur. U ziet hier een RLC parallelle resonantiekring die via een schakelaar is verbonden met een gelijkspanningsbron. Denk nu de tunnel diode even weg. Wanneer u de schakelaar sluit zal de voedingsspanning opeens over de parallelle resonantiekring komen te staan. Door het uitwisselen van energie tussen de condensator C1 en de spoel L1 zal er op de uitgang een sinusvormige spanning ontstaan. Deze zal echter langzaam uitsterven, omdat die energie verloren gaat via de weerstand R1.
Als u echter een tunnel diode D1 in serie plaatst met het RLC-circuit en de spanning door middel van de weerstanden R2 en R3 zó regelt dat de diode in haar gebied met negatieve weerstand wordt ingesteld zal de negatieve weerstand van de tunneldiode de positieve weerstand van R1 compenseren. Op de uitgang verschijnt dan nog steeds een sinusvormige spanning, maar die zal niet uitsterven omdat het volledig systeem als het ware '*weerstandsloos*' wordt.
Met een tunnel diode kunt u dergelijke oscillator schakelingen ontwerpen met frequenties tot 15 GHz.



Een sinus oscillator met een tunnel diode. (© 2024 Jos Verstraten)

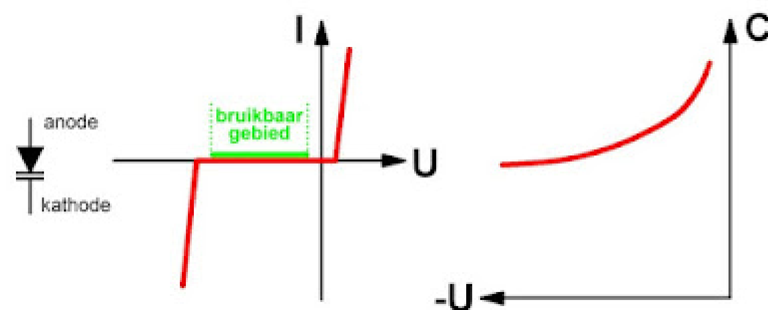
De varicap diode (varactor diode)

Wat is een varicap diode?

Een varicap diode, ook wel varactor genoemd, is een diode waarvan met de capaciteit in gesperde toestand kan variëren door de grootte van de sperspanning te regelen. Deze eigenschap maakt de varicap diode uitstekend bruikbaar voor het regelen van de frequentie van oscillatoren en afgestemde kringen in klassieke analoge radio- en TV-schakelingen.

Hoe werkt een varicap diode?
Deze diode is gebaseerd op een PN-junctie, net als een gewone Si-diode. De diode is echter zó ontworpen dat de breedte van de sperlaag tussen P- en N-materiaal afhankelijk is van de grootte van de sperspanning die men over de diode aanlegt. Hoe breder deze laag, hoe geringer de capaciteit van de diode.
De varicap diode werd in 1961 ontwikkeld door de Pacific Semiconductor Corporation. In 1967 werd de naam '*varicap*' geregistreerd door TRW Semiconductors, de opvolger van Pacific Semiconductors. Om deze geregistreerde naam te omzeilen kwamen andere halfgeleider fabrikanten met namen als '*varactor diode*', '*V-Cap diode*' en '*tuning diode*'.

Symbool en karakteristieken
In de onderstaande figuur zijn het symbool, de I/U- en de C/U-karakteristiek van een varicap diode verenigd. Het verband tussen capaciteit en sperspanning is dus niet lineair!



Gegevens van een varicap diode. (© 2024 Jos Verstraten)

BB112 en BB104 van Philips
De bekendste varicap diode is de BB112 van Philips. Deze kost ongeveer € 1,80 en heeft een capaciteitsbereik van ongeveer 440 pF tot 540 pF bij maximaal 12 V sperspanning. De BB104 is een dubbele varicap diode met een maximale sperspanning van 30 V en een regelbereilk van 34 pF tot 42 pF. U ziet dus dat het capaciteitsbereik nogal beperkt is, dat volgt ook uit de C/U-karakteristiek in de bovenstaande figuur.

De zener diode

Wat is een zener diode?
Zener diodes zijn genoemd naar C. M. Zener, een Amerikaanse natuurkundige die het naar hem genoemde '*zener-effect*' ontdekte. Een zener diode is een halfgeleidende diode die zo geconstrueerd is dat de spanning over de diode in sperrichting vrij constant blijft, zelfs als de stroom door de diode varieert. Deze eigenschap berust op het reeds genoemde zener-effect. Een zener diode moet u dus steeds aansluiten in sperrichting. Als de aangelegde spanning de doorslagspanning of zenerspanning overschrijdt gaat de diode '*doorslaan*' met als resultaat de reeds genoemde vrij constante spanning over het onderdeel. U kunt een zener diode als gevolg van deze eigenschap gebruiken om een elektrische spanning op een bepaalde waarde te begrenzen. Zener diodes worden gemaakt voor diverse zenerspanningen en elektrische vermogens. U kunt deze onderdelen voornamelijk gebruiken als parallelle stabilisator, als referentie voor een gestabiliseerde voeding of als overspanningsbeveiliging.

Leverbare zenerspanningen

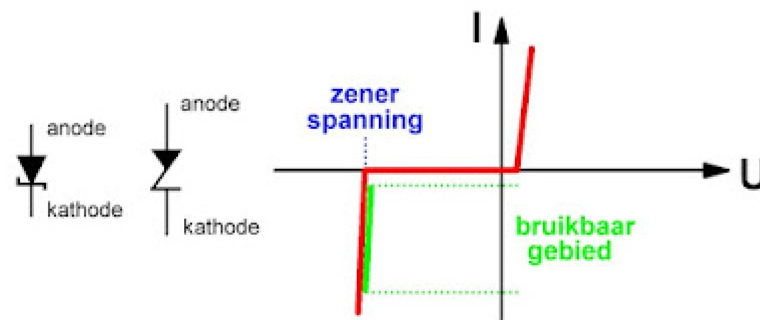
Zener diodes zijn in de handel met zenerspanningen tussen 2,4 V en 270 V. Er bestaat een soort internationale afspraak over de beschikbare zenerspanningen, hoewel gezegd moet worden dat niet alle fabrikanten zich daar aan houden.

De temperatuurscoëfficiënt

Een slechte eigenschap van zener diodes is dat de zenerspanning ook afhankelijk is van de temperatuur van de diode. Deze afhankelijkheid wordt uitgedrukt door de temperatuurscoëfficiënt, die meestal wordt uitgedrukt in mV/°C. Deze coëfficiënt geeft dus aan met hoeveel mV de zenerspanning daalt of stijgt als de temperatuur van de diode met 1 °C varieert. De waarde van de coëfficiënt is op de eerste plaats afhankelijk van de waarde van de zenerspanning. De temperatuurscoëfficiënt varieert van ongeveer -2 mV bij de laagste zenerspanningen tot meerdere tientallen mV positief bij de hoogste zenerspanningen. Er moet dus ergens een zenerspanning te vinden zijn, waarbij de temperatuurscoëfficiënt zo goed als nul is. Dat klopt, bij de meeste families zener diodes ligt dit omslagpunt van negatieve naar positieve coëfficiënt bij 5,6 V tot 6,2 V. Stelt u prijs op een zo stabiel mogelijke spanning in functie van de temperatuur, dan doet u er dus verstandig aan zener diodes van 5,6 V of 6,2 V toe te passen.

De symbolen en de I/U-karakteristiek

In de onderstaande afbeelding zijn de twee gebruikelijke symbolen en de I/U-karakteristiek van een zener diode samengevat.



Gegevens van een zener diode. (© 2024 Jos Verstraten)